

Die Bedeutung pedologischer Untersuchungen bei der Trennung von Reliefgenerationen

von

KLAUS HEINE, Bonn

Mit 8 Figuren, 6 Photos und 1 Tabelle

Zusammenfassung. Geomorphologische Sachverhalte können besser analysiert werden, wenn bodenkundliche Untersuchungen die geomorphologischen und geologisch-sedimentologischen Arbeitsweisen ergänzen. Als Beispiele werden folgende Probleme aus dem Raum um Marburg an der Lahn behandelt:

1. Die Datierung der Altflächen. Die pedologischen Untersuchungen ergaben, daß angebliche und zu Aussagen über die morphologische Entwicklung dieses Raumes herangezogene Bodenbildungen des Tertiärs in Wirklichkeit hydrothermale Zersetzungsprodukte sind, die keinen morphologischen Aussagewert besitzen. Echte jungtertiäre Böden hingegen konnten gefunden werden; sie liefern Aussagen über die zeitliche Einordnung der Flächenreste, die hier (bei Marburg) verschiedenen Alters sind, da man mit exhumierten Flächenresten rechnen muß.
2. Die Datierung der Talgenerationen. Es wird gezeigt, daß durch pedologische Untersuchungen und durch bodenkundlichen Vergleich eine Datierung der Talgenerationen, die sich in den Terrassen widerspiegeln, möglich ist. Eine Parallelisierung der Talgenerationen der Mittellahn einerseits und des Mittelrhein andererseits wird gegeben.
3. Flußverlegungen. Bedeutende pleistozäne Flußverlegungen im Marburger Raum konnten anhand ganz bestimmter Arbeitsverfahren (Einsatz des Elektronenmikroskops etc.) – wie sie in der Bodenkunde schon länger angewandt werden – nachgewiesen und zeitlich fixiert werden.

Summary. Geomorphological facts can be analysed better if soil investigations complete the geomorphologic and geologic-sedimentologic research methods. As examples the following problems from the area of Marburg at the Lahn are presented:

1. The dating of the old surfaces. The pedological investigations showed that the pretended soil formations of the Tertiary used for statements concerning the morphologic development of this area, in fact are hydrothermal disintegration products without any morphological value of evidence. But true late Tertiary soils could be discovered; they offer statements as to the dating of surface residuals, which here (at Marburg) show a different age because there exists the possibility of exhumed surface remnants.

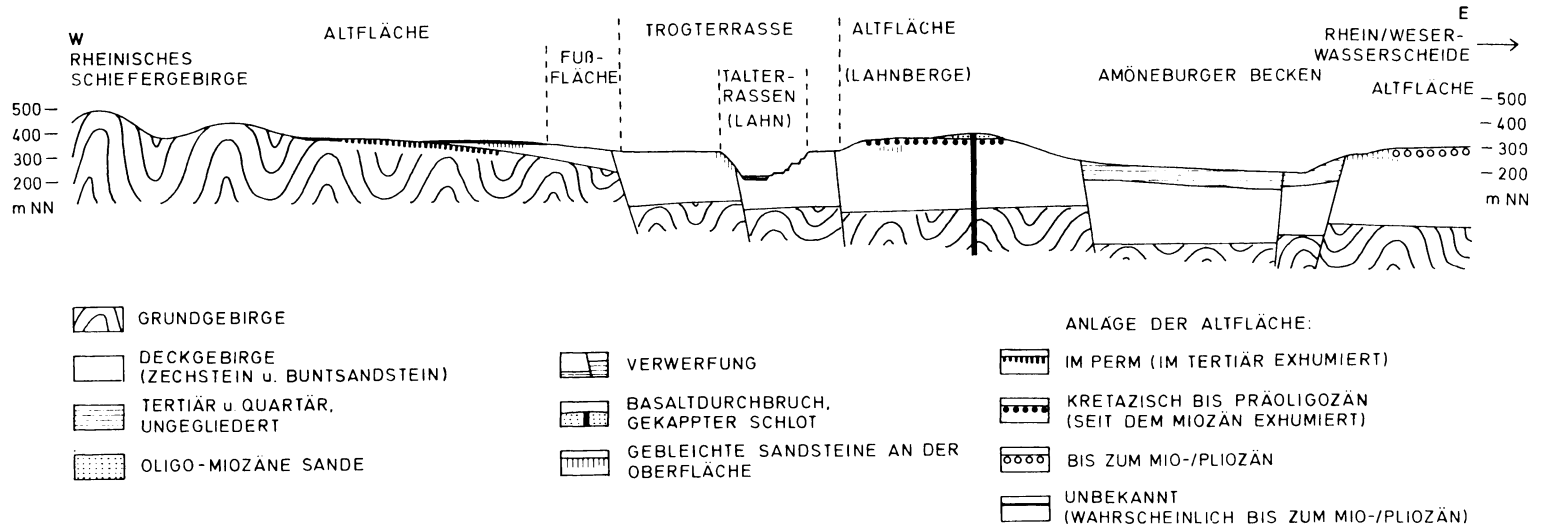


Fig. 1. Die Marburger Landschaft: Stark vereinfachtes Profil. Die Profillänge vom Rheinischen Schiefergebirge bis zu den östlichen Randhöhen des Amöneburger Beckens beträgt rund 15 km.

2. The dating of the valley generations: It is shown that by pedologic investigations and comparison of soils a dating of valley generations, which are reflected by the terraces, is possible. A correlation of the valley generations of the middle Lahn as well as of the middle Rhine is presented.

3. Diversion of rivers: Important Pleistocene diversions of rivers in the area of Marburg could be ascertained and dated by quite special methods of research (application of an electronic microscope a. o.) – as they are applied by soil science for some time already.

Résumé. Les problèmes géomorphologiques peuvent être mieux analysés quand des recherches pédologiques viennent compléter les méthodes de travail géomorphologiques et géologiques-sédimentologiques. En guise d'exemple sont traités les problèmes suivants de la région de Marbourg-sur-Lahn.

1. La datation des surfaces anciennes. Les recherches pédologiques ont montré que les formations de sol, supposées du Tertiaire et utilisées comme témoins du développement géomorphologique de cette région, sont en réalité des produits d'altération hydrothermaux, qui ne présentent aucune valeur en tant que témoins géomorphologiques. Par contre, de véritables sols du Tertiaire supérieur ont pu être trouvés; de là il résulte la chronologie des restes de surfaces, qui sont ici (à Marbourg) d'âges différents, car on doit tenir compte de restes de surfaces exhumées.

2. La datation des générations de vallée. Il est démontré qu'il est possible, par de analyses pédologiques et la comparaison des types de sol, d'arriver à une datation des époques de formation de vallée qui correspondent à des niveaux de terrasse différents. Les générations de vallée de la Lahn moyenne sont comparées à celles du Rhin moyen.

3. Détournements de rivières. Des détournements importants de rivières pleistocènes dans la région de Marbourg sont démontrés et chronologiquement classés, suite à des méthodes particulières (demandant l'utilisation del microscope électronique, etc.) – qui ont été utilisées depuis longtemps en pédologie.

I

Pedologische und sedimentologische Untersuchungen im Gelände und im Labor sind heute bedeutende geomorphologische Arbeitsweisen.¹ Die folgenden Ausführungen sollen darlegen, in welchem Maße ganz bestimmte bodenkundliche Untersuchungen mitzuhelfen vermögen, ein spezielles geomorphologisches Problem, nämlich die Trennung von Reliefgenerationen, zu lösen. Unter dem Begriff „Reliefgeneration“ sei hier die Definition von BÜDEL (1961, S. 316) verstanden, nämlich „die Generationenfolge von *Vorzeitformen* . . ., die früheren, längst vergangenen Klimaperioden ihr Dasein verdanken und heute als fossile Relikte in allen möglichen Zuständen besserer oder schlechterer Erhaltung in die Gegenwart hineinragen.“ Die Analyse, die möglichst scharfe Trennung der Stufenfolge solcher Fossilformen ist nach BÜDEL eine der wichtigsten Aufgaben der klima-genetischen Morphologie und damit der geomorphologischen Wissenschaft im ganzen.

Als Untersuchungsgebiet soll der Raum um Marburg an der Lahn dienen. Fig. 1 zeigt einen schematischen Schnitt durch die Marburger Landschaft. Drei Gruppen von Reliefgenerationen lassen sich unterscheiden: (1) die hochgelegenen Verebnungsflächen (Altflächen), (2) die wannenartig in diese Verebnungsflächen

¹ vgl. LESER 1966; KÖSTER & LESER 1967

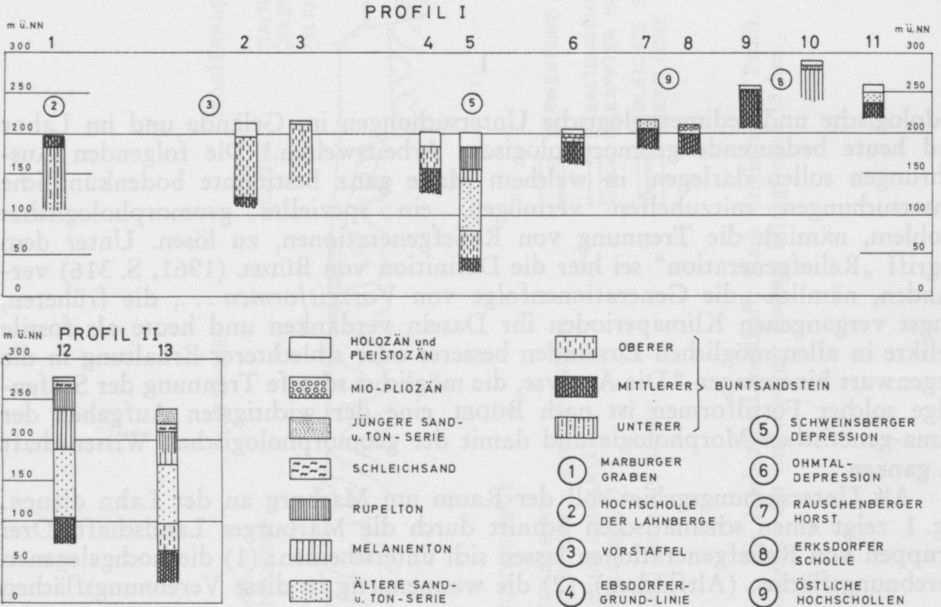
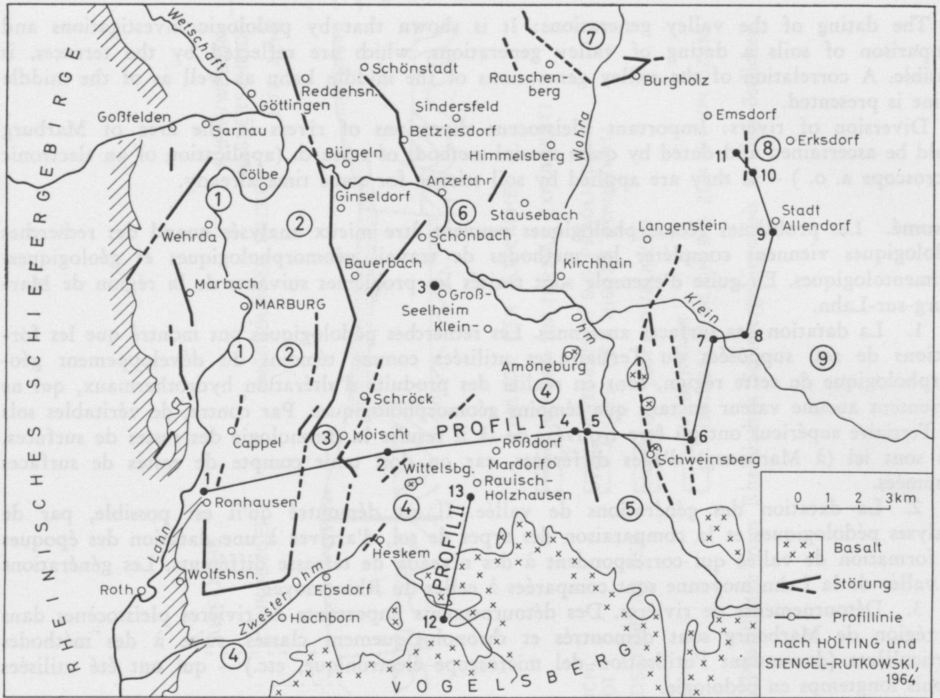


Fig. 2. Tektonische Übersicht.

eingesenkten, in einem Niveau von ca. 300 m ü. NN liegenden Talanlagen – vorwiegend in der Richtung der heutigen Täler – und (3) die durch eine verstärkte Tiefenerosion geschaffenen und durch Terrassen gegliederten eigentlichen Täler.

Aufgrund der teilweise recht komplizierten tektonischen Verhältnisse im Marburger Raum (Fig. 1 und 2) ist eine rein auf morphographische Kriterien aufbauende Trennung besonders der präpleistozänen Reliefgenerationen nicht möglich. Auch die Auswertung petrographischer sowie Schwermineralanalysen der tertiären und pleistozänen Sedimente gestattet nicht, die verschiedenen Reliefgenerationen eindeutig auszugliedern, gegeneinander abzugrenzen und zeitlich einzuordnen. Erst die Anwendung pedologischer Untersuchungen neben der petrographischen, mineralogischen und sedimentologischen Bearbeitung der leider nur noch sehr spärlich vorhandenen Sedimente und Bodenbildungen führte zur Erhellung vieler ungelöster Fragen hinsichtlich der geomorphologischen Entwicklung dieses Raumes.

II

Problem 1: Die Datierung der Altflächen

Mit der Rekonstruktion und Datierung ehemaliger Verebnungsflächen befaßten sich verschiedene Autoren, u. a. MAULL 1919, HARRASSOWITZ 1922, KLÜPPEL 1926, HUMMEL 1940, BLUME 1949. Ihre Datierungsversuche unterscheiden sich z. T. recht erheblich voneinander, was u. a. daraus resultiert, daß einerseits ein morphologisches, andererseits ein stratigraphisches Prinzip oder aber eine Kombination beider Prinzipien zur Altersbestimmung der Flächen herangezogen wurde; auch muß berücksichtigt werden, daß Verschiedenes datiert werden kann, nämlich (1) die Anlage der Fläche, (2) ihr Endstadium oder (3) Zwischenstadien, die den Weiter- oder Fortbau der Fläche anzeigen (GAERTNER 1968).

Bei Marburg beispielsweise berücksichtigt BLUME (1949) bei der zeitlichen Einordnung der Flächenreste, die hier nur einem einzigen Niveau angehören (HEINE 1970 a), neben den morphologischen und stratigraphischen Datierungshilfen auch die fossilen „Bodenbildungen“, die uns als intensiv gebleichte Zonen im Sandstein entgegentreten und in denen man eine Kaolinisierung unter tropisch-subtropischen Klimaten erblickt (vgl. BLUME 1949; KOCKEL 1958). BLUME (1949, S. 272 f.) hat hier Schwierigkeiten, die in gleicher Höhenlage liegenden, einmal stark gebleichten, ein anderes Mal ungebleichten Flächenreste miteinander zu verbinden, da er sowohl die Bleichungszonen als auch die Flächenreste als Bildungen ein und desselben Vorzeitklimas ansieht.

Eine genaue pedologische Untersuchung des Materials gebleichter Sand- und Zechsteine zeigt interessante Ergebnisse (HEINE 1970 b). Bereits eine sorgfältige Beobachtung im Gelände ließ Zweifel an der Vermutung aufkommen, die Bleichung sei die Folge einer tiefgreifenden Verwitterung. Die Möglichkeit einer hydrothermalen Entstehung dieser Bildungen – von HÖLTING & STENGEL-RUTKOWSKI 1964 vermutet – ist zu prüfen.

Bodenähnliche Zersetzungsprodukte, die durch vulkanogen-hydrothermale Prozesse entstehen, sind von KRESS-VOLTZ (1964) und JARITZ (1966) vulkano-

gene Edaphoide genannt worden (vgl. auch MÜCKENHAUSEN 1967; BESOAIN 1969). Diese „Zersetzungsprodukte erwecken in der Gesellschaft der mitteleuropäischen Böden oft den Eindruck, als handle es sich um Paläosole eines tropischen oder subtropischen Klimas des Präpleistozäns“ (MÜCKENHAUSEN 1967, S. 703). Die makromorphologisch kaum zu unterscheidenden Paläosole und vulkanogenen Edaphoide lassen sich mit Hilfe mikromorphologischer Untersuchungen, besonders aber aufgrund tonmineralogischer Analysen der Feinsubstanz ($< 2 \mu$) meistens sicher unterscheiden, sofern es sich nicht um polygenetische Bildungen handelt (vgl. MÜCKENHAUSEN 1967).

In dem o. a. Beispiel war es möglich, durch die Auswertung elektronenmikroskopischer Untersuchungen der Tonsubstanz des gebleichten Sandsteinmaterials aus dem Marburger Raum die Ursachen der Bleichung zu bestimmen (HEINE 1970 b, 1971 a). Die Hauptbestandteile der Tonsubstanz sind hier Sarospatakit, Quarz und Hydroglimmer, während Kaolinit nur in Spuren zu finden ist. Auffällig ist der hohe Anteil des eisenarmen illitischen Minerals Sarospatakit. Aus den elektronenmikroskopischen Bildern (Photo 1) geht hervor,² daß der Sarospatakit ein ausgezeichnetes Kristallisationsvermögen besitzt. Es treten gut ausgebildete leisten- und plättchenförmige Teilchen mit definierten Endbegrenzungen auf, die pseudohexagonalen Habitus mit bevorzugtem Längenwachstum erkennen lassen. Die Bildung des Sarospatakits sowie des ausgezeichnet kristallisierten Kaolinites ist nur unter hydrothermalen Bedingungen möglich. Darauf weist auch die Tatsache hin, daß der Sarospatakit einzig und allein in gebleichten Gesteinen vorkommt, während er in allen anderen fossilen und rezenten Böden des Marburger Raumes fehlt (HEINE 1970 a).

Interessant ist auch der mengenmäßige Anteil und die Ausbildung des Kaolinites. Während die röntgenographischen und differentialthermoanalytischen Untersuchungen einen hohen Kaolinitgehalt vermuten lassen, bestätigt das Elektronenmikroskop den Einfluß vulkanogen-hydrothermalen Prozesse bei der Ausbildung der ausgezeichnet kristallisierten Kaolinitminerale, indem sich mit ihm der Nachweis erbringen läßt, daß die scharfen Röntgen-Interferenzen und D.T.A.-Ausschläge auf die besondere, hydrothermal beeinflusste Kristallisation zurückzuführen sind (vgl. HEINE 1970 b, 1971 a; MÜCKENHAUSEN 1964, 1967).

Es wird sofort ersichtlich, daß eine morphodynamische bzw. morphogenetische Ausdeutung sogenannter fossiler Bodenbildungen erst dann gestattet ist, wenn die Zersetzungsprodukte, mit deren Hilfe das Alter von Altflächen bestimmt werden soll, genauestens analysiert worden sind. Das gilt auch für die häufig intensiv rot und rotbraun gefärbten Zersetzungsprodukte der tertiären vulkanischen Gesteine des Westerwaldes und Vogelsberges, die sowohl auf hydrothermale Prozesse als auch auf eine echte Pedogenese zurückzuführen sind, wie aus den Untersuchungen von KRESS-VOLTZ (1964), JARITZ (1966), MÜCKENHAUSEN (1967) und BESOAIN (1969) deutlich hervorgeht.

Im Osten des Amöneburger Beckens im Bereich der Wasserscheide Rhein/Weser trifft man neben dem flächenhaften Vorkommen intensiv gebleichter Sandsteine auch leuchtend rot (2.5 YR 4/6) gefärbte Bodenbildungen an (vgl. Tabelle 1). Sie befinden sich im Niveau der Altflächen. Die Böden sind kalk- und

² vgl. BEUTELSPACHER & VAN DER MAREL (1968).

humusfrei und haben eine saure Reaktion, jedoch bei Lößüberlagerung infolge der Einwaschung von Ca-Ionen oft eine schwach saure bis neutrale Reaktion. Ihre Austauschigenschaften sind schlecht, können aber – wenn im Pleistozän kalkhaltige Deckschichten vorhanden waren – durchaus mäßig werden. Der Tonanteil am Gesamtsediment beträgt in der Regel um 30 %, dem Boden fehlt aber die auffallende Schwere, Klebrigkeit und Verschlämmbarkeit der braunlehmartigen gelblichroten Interglazialböden (s. u.). Auch die Plastizität ist wesentlich geringer. Das Material läßt sich in der Hand leicht krümeln. In der Tonsubstanz ist fast nur noch Kaolinit vorhanden, der zudem – im Vergleich zu anderen pedogenetisch gebildeten Kaolinitmineralien – recht gut kristallisiert ist. Der Eisenhydroxidgehalt im Schlämstoffkomplex scheint gegenüber den braunlehmartigen Interglazialböden höher zu sein. Die sedimentpetrographischen, chemischen, tonmineralogischen und Dünnschliff- (Photo 2) Untersuchungen lassen auf einen ursprünglich latosolartigen Boden – eine Roterde – schließen, der allerdings später geringfügig überprägt und an manchen Stellen auch umgelagert wurde.

Die Überlagerung dieser Bodenbildungen von fluviatilen Schottern, die von HUCKRIEDE & ZACHOS (1969) einem pliozänen Lahnvorläufer zugeschrieben werden (Photo 3), die in keiner Weise durch postpliozäne Umlagerungsvorgänge, kryoturbate Verwürfungen etc. gestörte Grenze zwischen dem Paläoboden und den hangenden Schottern – ganz abgesehen von den pedologischen Kriterien –, bezeugen ein Alter der Bodenbildung, das mindestens Oberpliozän ist. Andererseits lassen ergänzende Beobachtungen das Alter der Bodenbildungen postbasaltisch erscheinen³, denn neben den von Sesquioxid-Filmen umgebenen und dadurch verbackenen Quarzkörnern befinden sich Basaltreste, deren Korndurchmesser immer < 2 mm ist, in den Paläoböden. Als stark verwittertes, von eisenhaltigen Lösungen imprägniertes Gestein sind die Basaltreste ehemaligen Konkretionshorizonten (Laterit?) entnommen und umgelagert worden. Da die Paläoböden aufgrund ihrer heutigen Lage auf den flächenhaft angelegten Wasserscheiden, die Teile früherer Altflächen sind, morphodynamische Prozesse bezeugen, die eine Flächenbildung begünstigen bzw. nach sich ziehen oder aber – wenn man ROHDENBURGS (1970, S. 87) Gedanken folgt und Bodenbildungen als Kennzeichen morphodynamischer Stabilitätszeiten ansieht – doch wenigstens eine bereits existierende Fläche nicht zerstören, kann mit Hilfe der Paläosole das Endstadium der Flächenbildung bzw. Flächenerhaltung angegeben werden: für den Marburger Raum die Wende Mio-/Plio-än. Berücksichtigt man die geologischen Verhältnisse – das Untertauchen des Verebnungsniveaus unter oligo-miozäne Sande, die sich im Schutz der Basaltschlote erhalten konnten –, so ergibt sich eine zeitlich polygenetische Anlage der Flächen bei Marburg (Fig. 1). Es muß weiteren Untersuchungen vorbehalten sein zu klären, aus wie vielen Teilstücken die heute durch die Zertalung zerstückelte morphologische Fläche besteht und inwieweit die Teilstücke verschiedenen Alters sind, wobei die Exhumierung von früheren Flächen unbedingt berücksichtigt werden muß⁴.

³ Nach STEGEMANN (1964) und WEYL (1967) reichte die Basaltförderung des Vogelberges vom Aquitan mit stellenweise längeren Ruhepausen bis ins Torton/Sarmat.

⁴ Nach E. SAUER (1964) taucht die Rötungszone des variskischen Gebirges, die die Existenz einer (prä)permischen Rumpffläche belegt, zwischen Cyriaxweimar und Wehrshausen unter das Perm ab. Die Rötung reicht meistens nicht tief (etwa bis 20 m).

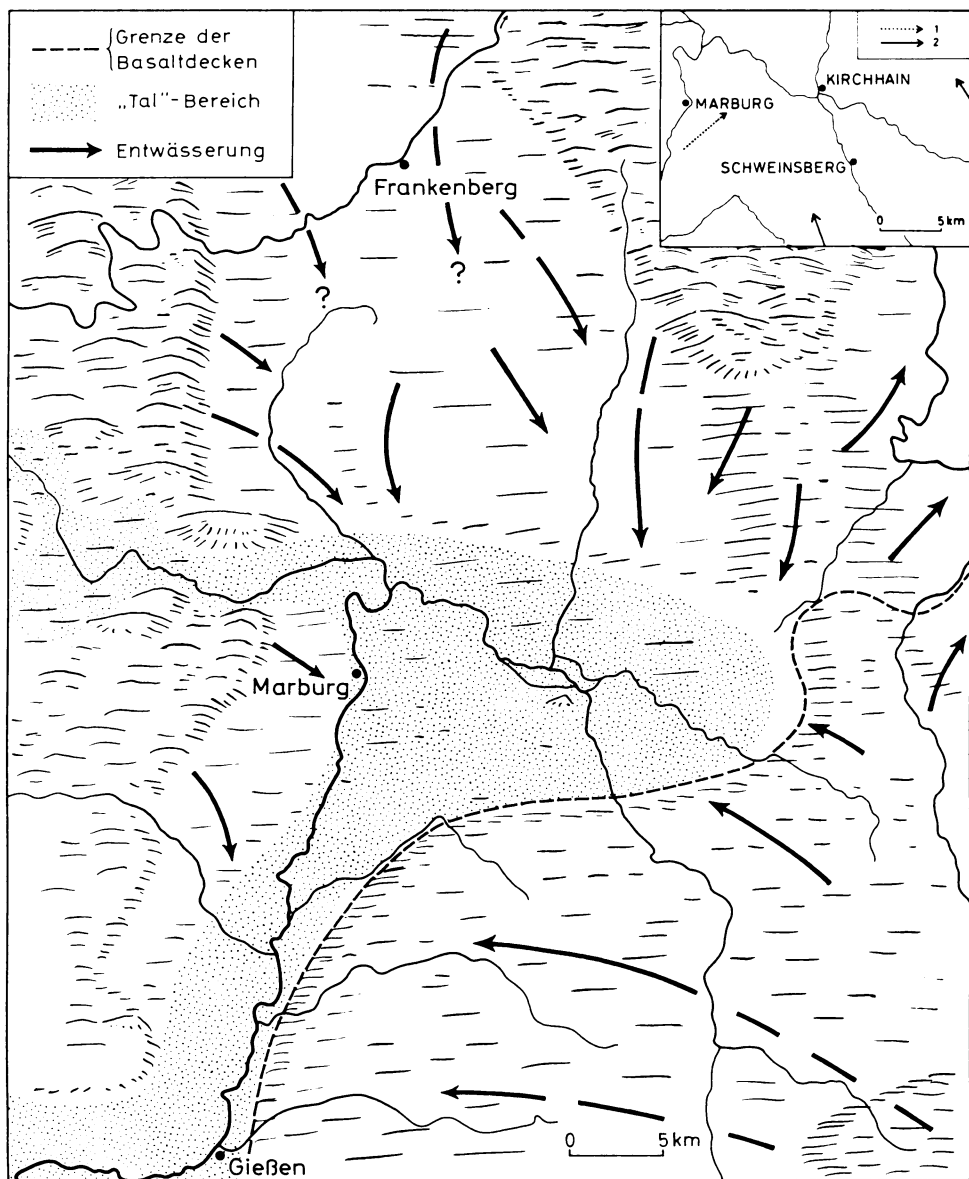


Fig. 3. Mio-/pliozänes Relief. Die Nebenkarte zeigt die Entwässerung nach früheren Autoren: 1 = BLANCKENHORN & KURTZ 1930 und BLANCKENHORN 1939, 2 = LANG 1955.

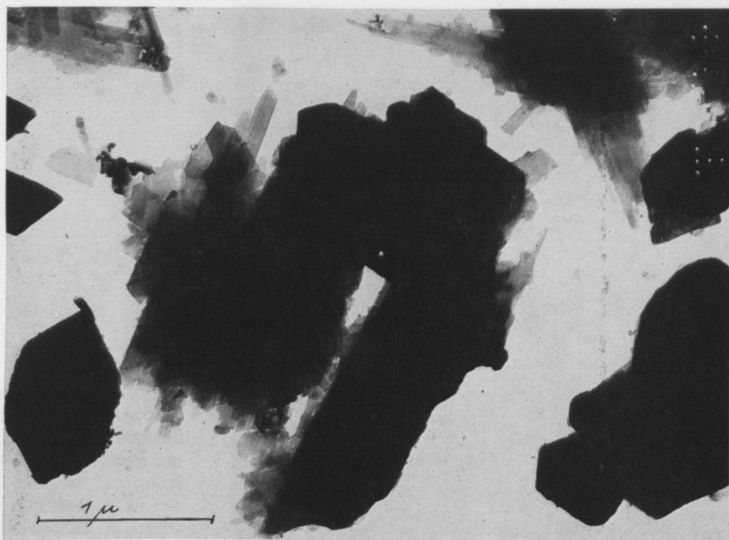


Photo 1

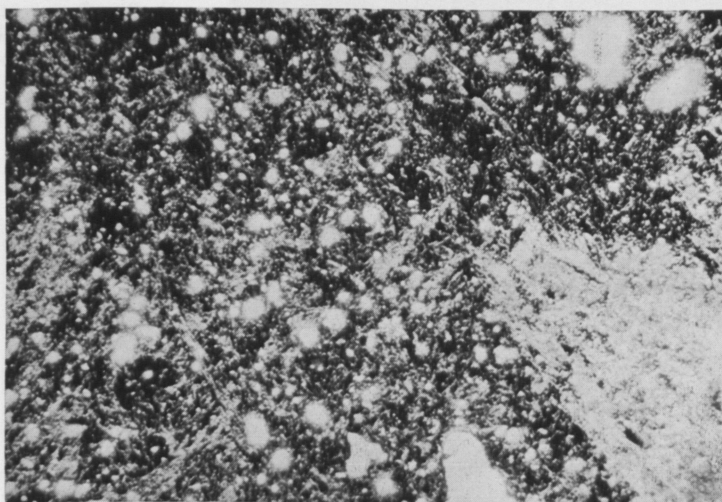


Photo 2

Photo 1. Elektronenmikroskopisches Bild der Tonsubstanz eines hydrothermal zersetzten Sandsteins. Deutlich sichtbar ist der leistenförmige Sarospatakit und der gut ausgebildete Kaolinit. Das Material der Probe entstammt dem Mittleren Buntsandstein nördlich Marburg.

Photo 2. Dünnschliff eines latosolartigen Bodens. In der Grundsubstanz sind fast nur Quarzkörner eingebettet. Die Hauptmasse des Gefüges besteht aus tiefroten Absätzen von Eisenhydroxidgel, das fein verteilt ist und an irreversible Iwatoka-Ausscheidungen erinnert. Die mikroskopischen Merkmale zeigen eine gewisse Ähnlichkeit mit denjenigen des von KUBIENA (1953) beschriebenen „Erdigen Rotlehms“. (64x, xPol).



Photo 3. Pliozäne fluviatile Schotter (oberhalb des Hammers) eines Lahnvorläufers über einem jungtertiären latosolartigen Boden nordöstlich von Langenstein.

Photo 4. Dünnschliff eines „braunlehm-artigen gelblich-roten Interglazialbodens“. Die charakteristischen Merkmale des Braunlehms sind zu beobachten: Peptisation des Eisenhydroxids, Fließstrukturen, doppelbrechende Schlieren in der stark beweglichen Grundmasse, dunkel gefärbte Eisenkonkretionen. (Normalvergrößerung [10x], xPol).

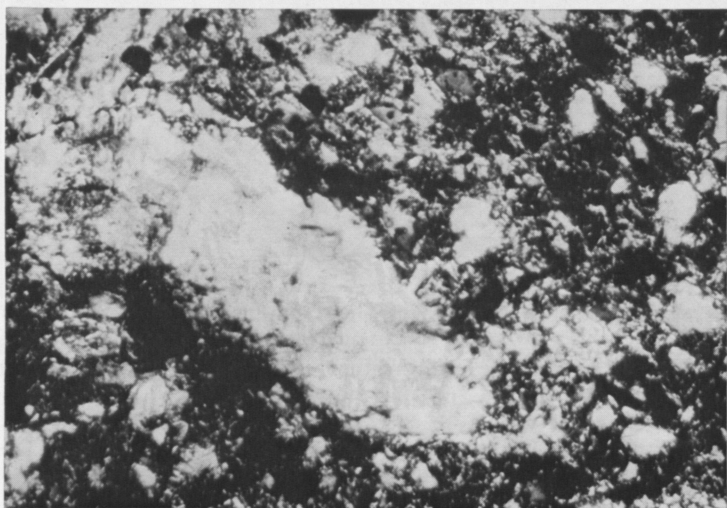


Photo 4

Photo 5. Günzzeitliche Hauptterrassenschotter, auf denen sich ein braunlehm-artiger gelblich-roter Interglazialboden entwickelte, überlagern einen prä-günzzeitlichen Stagnoley südlich Roth a.d. Lahn. Der vertikale Bildausschnitt beträgt 85 cm.

Photo 6. Elektronenmikroskopisches Bild mit Spuren von Halloysit (im linken unteren Bildteil). Der Halloysit wird in Form von Röhrchen sichtbar. Die Probe stammt aus den mindelzeitlichen Lahn-schottern bei Marburg.

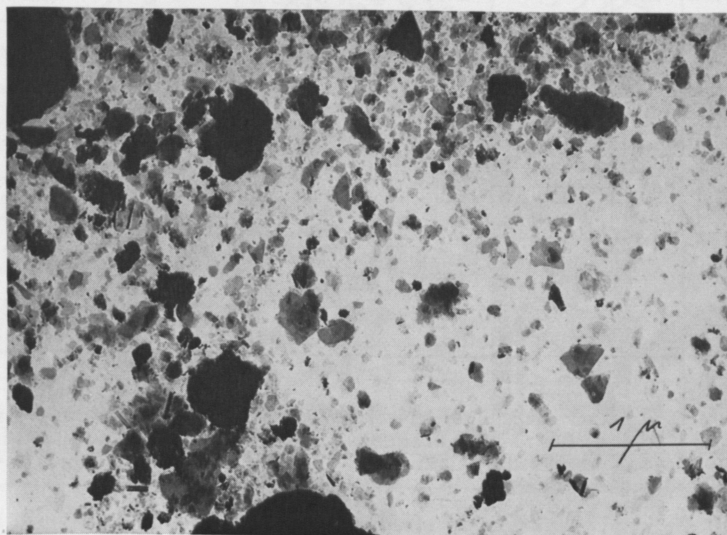
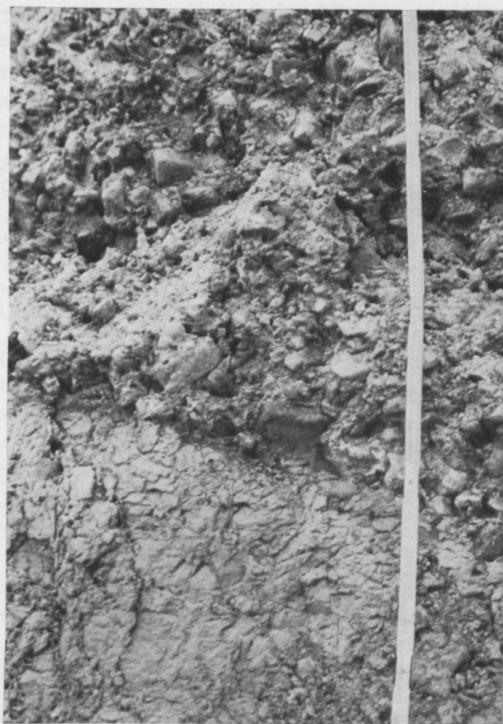


Photo 6

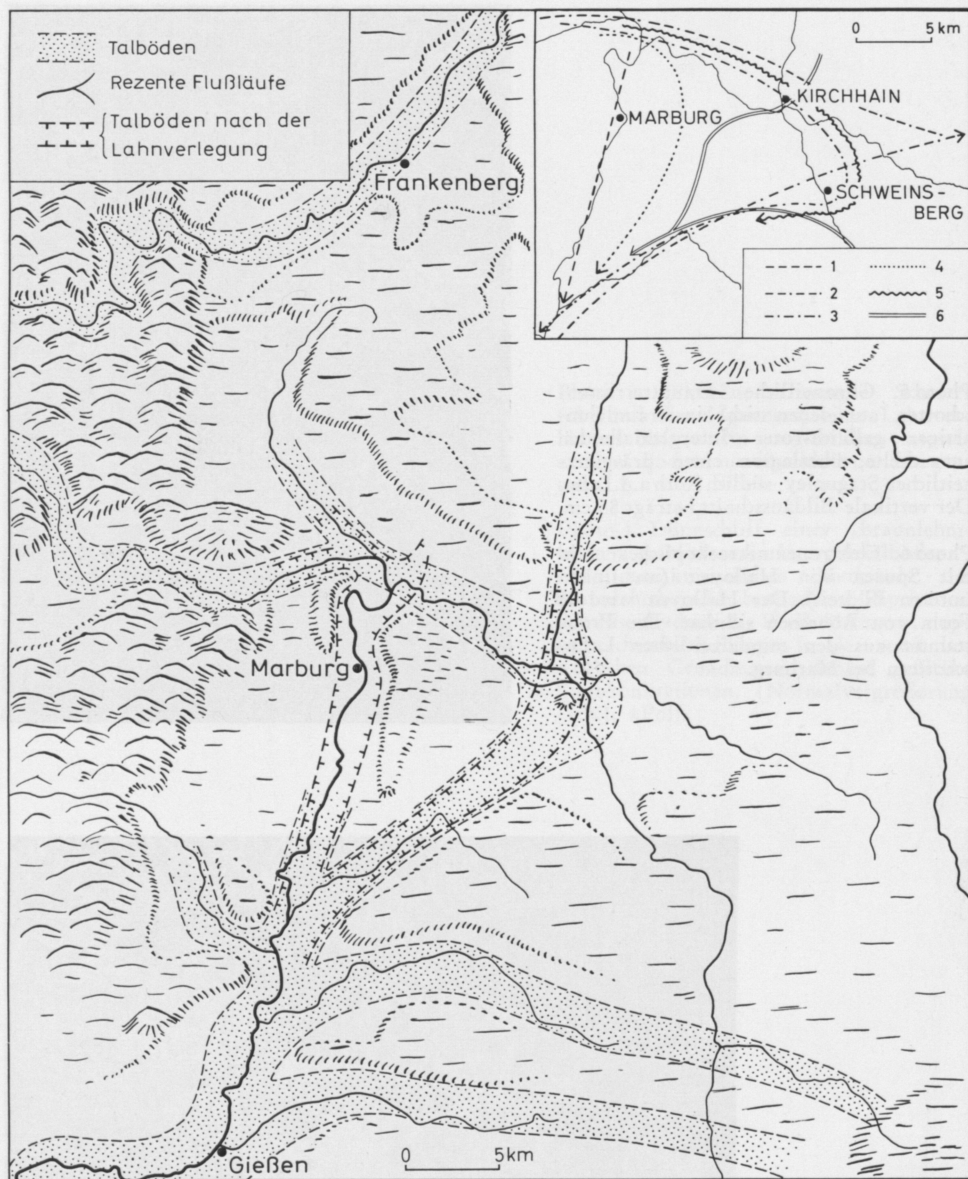


Fig. 4. Pliozänes Relief. Die Nebenkarte zeigt die Entwässerung nach früheren Autoren: 1 = HUMMEL 1929, 2-4 = BLANCKENHORN & KURTZ 1930 und BLANCKENHORN 1939 (für verschiedene Abschnitte des Pliozän), 5 = LANG 1955 (für die Lahn), 6 = LANG 1955 (für die Wohra und die Ohre).

Eine einfache Rekonstruktion des mio-/pliozänen Reliefs bei Marburg soll die Fig. 3 vermitteln. Die Zweiteilung der Verebnungsflächen in ein höher und tiefer gelegenes Niveau hat die relative Heraushebung des Schiefergebirges einschließlich des Kellerwaldes zur Voraussetzung, jedoch sind klimatische Schwankungen thermischer und hygrischer Art als Ursache dafür anzusehen.

III

Problem 2: Die Datierung der Talgenerationen

1. Jungtertiäre Talgenerationen

Seit dem Pliozän werden die Verebnungsflächen im Marburger Raum durch eine verstärkte Talbildung aufgelöst. Die im Pliozän neu geschaffene Reliefgeneration läßt sich anhand der morphologischen Formen – Trogterrassen einerseits und Fußflächen andererseits – gut rekonstruieren. Petrographische Untersuchungen der spärlichen fluvialen Sedimente (BLANCKENHORN & KURTZ 1930; LANG 1955; HUCKRIEDE & ZACHOS 1969; HEINE 1970 a) ergänzen das Bild. Die pliozänen Talgenerationen habe ich 1970 (a) beschrieben; hier soll lediglich anhand der Fig. 4 auf die Ergebnisse hingewiesen werden, da sie zum Verständnis der pleistozänen Entwicklung notwendig sind. Die Lahnverlegung aus dem Bereich des Amöneburger Beckens in den der Buntsandsteinberge des Marburger Rückens und der Lahnberge bei gleichzeitiger Entwässerung des Amöneburger Beckens

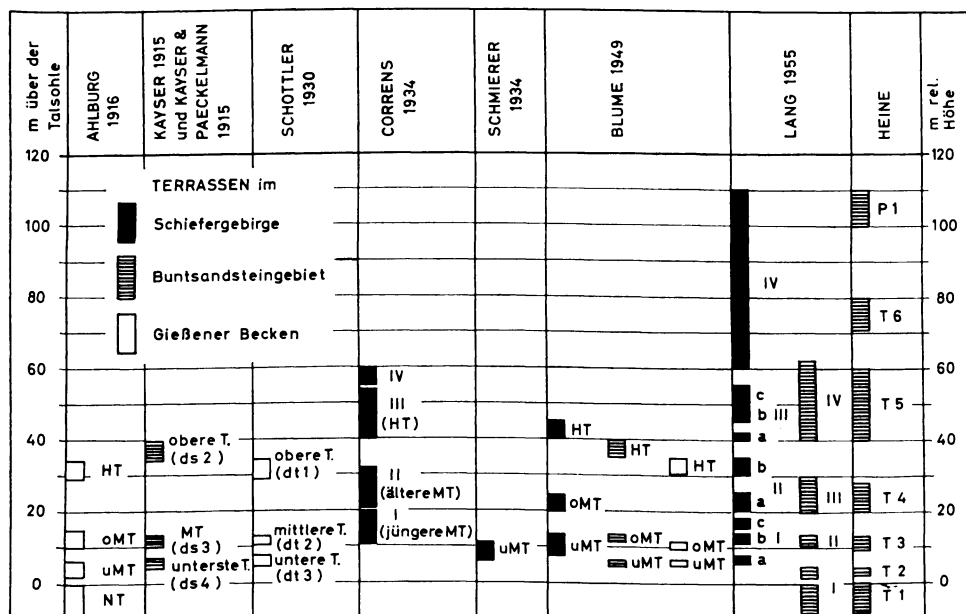


Fig. 5. Höhenlage der Lahnterrassen über der Talsohle (verschiedene Autoren).

Tabelle 1

Zusammengestellt aus den Untersuchungsergebnissen aller aufgefundenen Böden auf quartären Schottern und der tertiären Bodenbildungen. Daher können im Einzelfall die Werte von den hier angegebenen erheblich abweichen (z. B. bei einer sekundären Aufkalkung fossiler jungtertiärer Roterden).

Reliefgenerationen		T1 u. T2	T3	T4	T5	T6	Trogterr.	Verebnungen		
Tongehalt in % am Gesamtsediment		<1	>1,5–1	10—20	20—30	—	—	>30		
CaCO ₃ -Gehalt in %		—	—	—	—	—	—	—		
Organ. Subst. in %		—	—	—	—	—	—	—		
pH-Wert in H ₂ O		7—6	7—6	6	6—5	—	—	5—4		
Hydrol. Azid.		{ ml n/10 NaOH 50 g Boden	{ y ₁ y ₁	3,5	4	9	15	—	—	18
Aust. Azid.				—	0,2	4	14	—	—	4
mval/100 g Boden	S	(10)	15	15	12	—	—	5		
	T	(50)	45	55	95	—	—	15		
	T-S	(45)	30	40	85	—	—	10		
	V	(35)	37	30	10	—	—	25		
Bodenfarbe (feucht)		grau bis braun 10YR 5/2	braun bis rotbraun 7.5YR 5—6/6	5YR 4/5	gelblich-rot 5YR 5—6/8	—	—	rot 2.5YR 4/6		
Entwicklungstiefe in m		—	2—2,5	>3	>7	—	—	?		
Tonminerale*		H, Q, I (K, M, V)	H, I, Q (K, M)	I, K, H, Q	K, I, Q (H)	—	—	K (Q, I)		
Zeit der Bodenbildung		Holozän	Eem	Holstein (+ Eem?)	Cromer + Holstein (+ Eem?)	—	—	Jungtertiär (Mio- Pliozän)		
Bodentyp		keine Bodenbildung	Braunerde	braunlehmartiger gelblich-roter Interglazialboden		—	—	Roterde		

* H = Hydroglimmer, I = Illit, K = Kaolinit, M = Montmorillonit, Q = Quarz,
V = Vermiculit (+ Clorit)

In Klammern: Nebenbestandteile

durch den Ebsdorfer Grund nach Südwesten ist das bedeutendste Ereignis dieser Zeit. Bodenkundliche Untersuchungen sind nicht möglich, da aus dem Pliozän weder Reliktböden noch fossile Böden oder Bodensedimente erhalten sind.

2. Quartäre Talgenerationen

Die Trennung der quartären Reliefgenerationen beruht auf dem Studium der pleistozänen und holozänen Flußterrassen (Fig. 5). Sie sind Reste von Vorzeitformen, aus denen sich frühere Landschaftszustände rekonstruieren lassen. Voraussetzung dafür ist die Erarbeitung einer Terrassenstratigraphie. Während an der Mittellahn allein aufgrund morphologischer Beobachtungen (relative Höhenlage der Terrassen, Deckschichten, Eiskeile etc.) und mit Hilfe der petrographischen sowie Schwermineralanalyse keine sichere stratigraphische Einordnung der Terrassensedimente vorgenommen werden konnte, war es möglich, durch die pedologischen Untersuchungen und durch bodenkundlichen Vergleich eine Datierung der Terrassen vorzunehmen und die Lahnterrassen mit den Terrassen des Mittelrheintales zu parallelisieren (HEINE 1971 b)⁵.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt (vgl. Tabelle 1 und Fig. 6): Alle Terrassenablagerungen sind kaltzeitliche Bildungen (HEINE 1970 a). Die Kiese und Sande der Talfüllung (T1) entsprechen der mittelhheinischen Niederterrasse; sie sind praktisch unverwittert und werden von einem postallerödzeitlichen Ausediment bedeckt (LANG 1954, 1955, 1956; HEINE 1970 a; MÄCKEL 1969), auf dem sich im Holozän ein Braunerde-Gley entwickeln konnte. Der Tongehalt der Terrassenschotter schwankt um 1 %. In der Tonsubstanz herrschen Hydroglimmer, Quarz und Illit vor, während Kaolinit, Montmorillonit und Vermiculit als Nebenbestandteile auftreten. Ebenfalls unverwittert sind die Schotter der 2–4-m-Terrasse (T2), die jedoch häufig von umlagertem Löß bedeckt werden. Die holozäne Verwitterung führte auf den Deckschichten zu einer Braunerdebildung, deren Bv-Horizont gelegentlich bis in die Kiese der 2–4-m-Terrasse eindringen kann. Talfüllung sowie 2–4-m-Terrasse sind würmzeitliche Bildungen und infolge der Überdeckung mit Ausediment einerseits und Schwemmlöß andererseits post-würmzeitlich nicht verwittert. Sie sind analoge Bildungen zu der oberen (=älteren) Niederterrasse des Mittelrheintales.

Die 8–12-m-Terrasse (T3) zeigt überall eine unterschiedlich starke Überdeckung mit Solifluktionsschutt und/oder Schwemmlöß oder Löß. Die Bodenbildungen der Deckschichten sind post-pleistozän; es handelt sich um Braunerden und Parabraunerden. Die Schotter dieser Talgeneration zeigen die Reste fossiler Braunerden, deren Ah- und Teile der Bv-Horizonte abgetragen wurden; der Tongehalt schwankt daher zwischen 1,5 und 10 %; unter den Tonmineralen treten Illit und Kaolinit zugunsten des Hydroglimmers etwas mehr hervor. Die Entwicklungstiefe der fossilen Böden, die auch durch die starke Verbraunung charakterisiert wird, kann bis über 2 m betragen. Alle Befunde deuten auf eine Bodenbildung nicht mehr während des Würm-Glazials und Holozäns hin, sondern während des Eem-Interglazials. Vergleiche mit eemzeitlichen Bodenbildungen (vgl.

⁵ Fossilien, Artefakte, Pollen etc. sind in den hier betrachteten Lahnterrassenschottern bisher nicht gefunden worden.

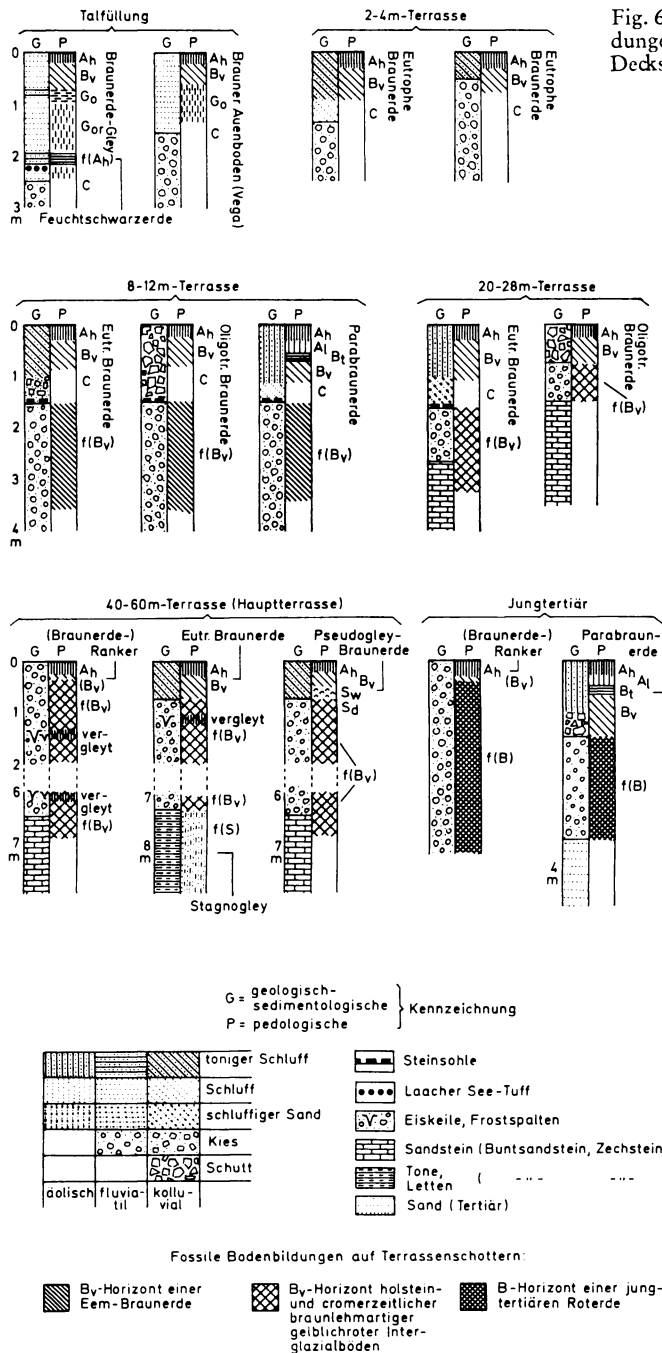


Fig. 6. Die häufigsten Bodenbildungen auf Terrassenschottern und Deckschichten (schematisch).

PAAS 1961) auf mittelhheinischen Terrassenschottern bestätigen diese Annahme. Die 8–12-m-Terrassen der Mittellahn sind demnach rißzeitliche Bildungen und entsprechen der unteren Mittelterrasse des Mittelrheins.

Die kräftige Verwitterung der Sedimente der 20–28-m-Terrasse hebt sich deutlich von den Bodenbildungen der tieferen Terrassenschotter ab. Der Verlehmungsgrad – der Tongehalt am Gesamtsediment schwankt zwischen 10 und 20 % –, die große Plastizität, die recht intensive gelblich-rote Farbe, die saure bis schwach saure Bodenreaktion, die mäßigen Austauschigenschaften, die hochplastische, außerordentlich leicht verschlämmende, durch kolloidale Kieselsäure peptisierte Tonsubstanz und die Tonmineralgarnitur, in der eine deutliche Zunahme des Kaolinites und eine Abnahme der Hydroglimmer zu verzeichnen ist, lassen einen Boden erkennen, der den von PAAS (1961) für die rheinische obere Mittelterrasse beschriebenen Bodentypen sehr ähnlich ist und daher ebenfalls bodentypologisch als „braunlehmartiger gelblichroter Interglazialboden“ bezeichnet werden soll (Photo 4). Er gehört in die Bodenklasse der von KUBIENA (1953) beschriebenen „bolusartigen Silikatböden“. Braunlehme haben eine große Stabilität, weshalb sich ihre Eigenart in den meisten Ablagerungen und Relikt-vorkommen weitgehend erhalten hat. Diese Braunlehme sind das Ergebnis einer intensiven Bodenbildung während relativ langandauernder, warmer und feuchter Interglazialzeit. Für ihre Bildung muß aufgrund der pedologischen Befunde das Holstein-Interglazial angenommen werden. Die Talgeneration dieser Sedimente hat somit mindelzeitliches Alter und kann mit der mittelhheinischen oberen Mittelterrasse parallelisiert werden.

Ein ähnlicher, jedoch wesentlich stärker ausgeprägter „braunlehmartiger gelblichroter Interglazialboden“ kennzeichnet die Schotter der 40–60-m-Terrassen (T5). Besonders auffällig sind die Zunahme des Tongehaltes und das zugunsten des Kaolinites verschobene Kaolinit-(Illit-Hydroglimmer-)Verhältnis. Nur die Summation mehrerer Interglaziale (Cromer und Holstein) vermag zu einer derart intensiven Ausbildung führen. Eine ähnliche Bodenbildung erfaßte die Schotter der rheinischen jüngeren Hauptterrasse; ein gleiches Alter wird daher angenommen.

Südlich von Roth liegen die gүнzeitlichen Hauptterrassenschotter auf einem intensiv verwittertem, weißlich-grauen Material, dessen Gefüge grobprismatische Elemente aufweist und in dem unter dem Einfluß eines häufig wiederkehrenden Wechsels von Staunässe und Austrocknung alle Eisenverbindungen in tiefere Horizonte abgewandert sind, wo sie sich als Konkretionen, mehr aber als rostig-braune bis gelblich-rote Flecken und Beläge auf den Gefügeelementen wieder abgesetzt haben (Photo 5). Aufgrund der Entwicklungstiefe dieses Paläosols habe ich 1970 (a) vermutet, daß es sich um einen Pseudogley oder Stagnogley handelt, der sich auf einem älteren fossilen Boden entwickelte (vgl. HEINE 1970 a; BRUNNACKER 1964 a+b, 1965; MÜCKENHAUSEN 1962). Ich habe damals verschiedene Möglichkeiten einer morphologischen Interpretation dieses Paläobodens aufgezeigt, jedoch nicht daran gedacht, daß außer einer (oder mehrerer) Pedogenese(n) auch hydrothermale Prozesse abgelaufen sind, wodurch ebenfalls spezifische bodentypologische Merkmale bewirkt wurden. Die hydrothermalen Einflüsse ließen sich elektronenmikroskopisch nachweisen (HEINE 1970 b). Auf den Bildern fallen die gut kristallisierten hydrothermalen Kaolinit- und Sarospatakitminerale

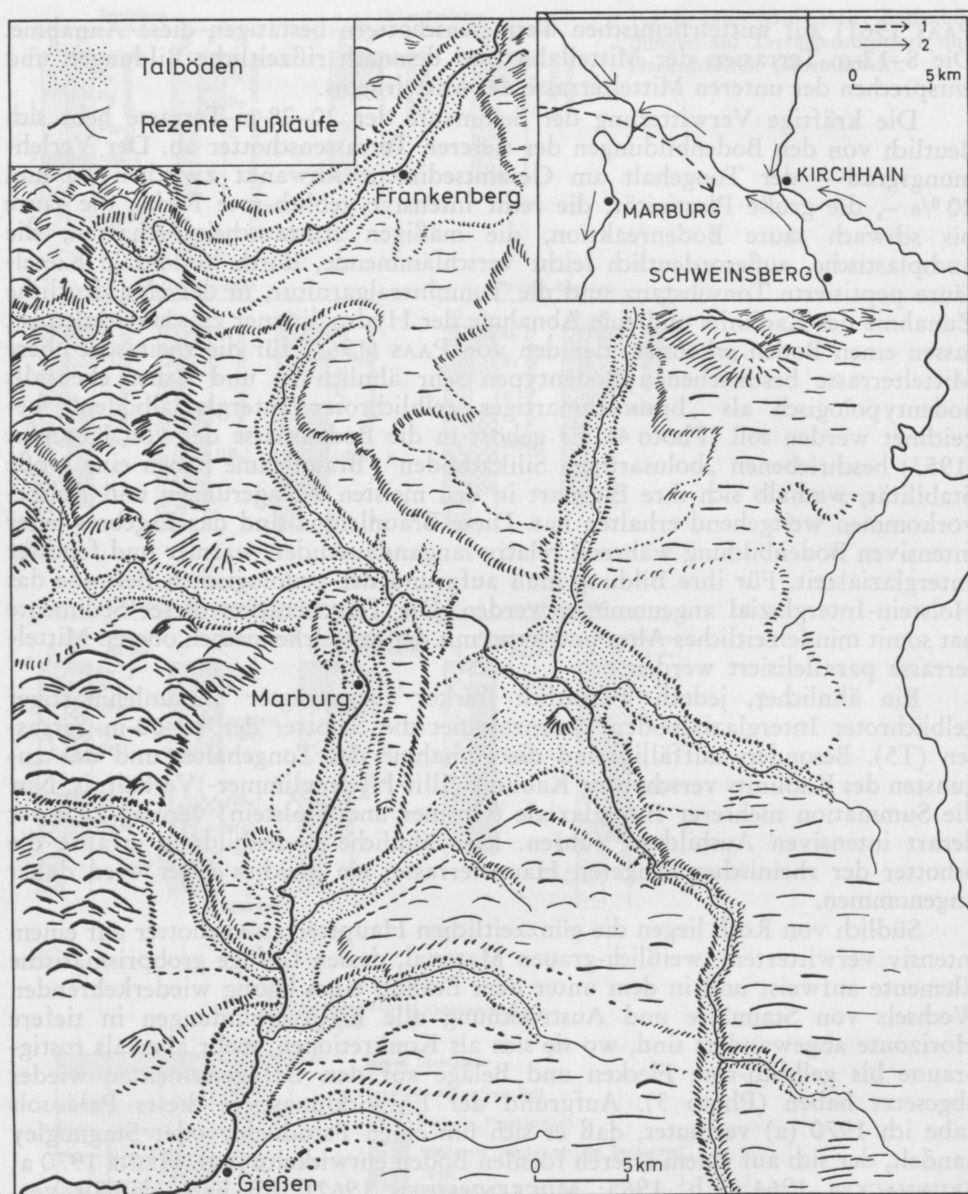


Fig. 7. Altquartäres Relief. Die Nebenkarte zeigt die Entwässerung nach früheren Autoren: 1 = KAYSER & PAECKELMANN 1915 (Altpleistozän), 2 = alle anderen Autoren (vgl. Fig. 3 u. 4).

auf; daneben kommen weniger gut ausgebildete Kaolinite vor, die auf kontinentale Verwitterungsprozesse (Stagnogleybildung) zurückzuführen sind. Im vorliegenden Fall handelt es sich um hydrothermal zersetzte Zechsteinsedimente, die nachträglich von einer Bodenbildung überprägt wurden. Die Stagnogleybildung fand vor der Akkumulation der Hauptterrasse statt, jedoch darf sie nicht für morphodynamische noch für paläoklimatische Ausdeutungen oder für Schätzungen über die Dauer gewisser Reliefgenerationen herangezogen werden, da die heute zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden und die derzeitige Kenntnis hinsichtlich solcher polygenetischer Bodenbildungen derart weitreichende Interpretationen nicht gestatten.

Im Niveau der vermutlich prä-günzeitlichen, altquartären 70–80-m-Terrassen (T6) sind weder Schotter noch fossile Bodenbildungen vorhanden. Pedologische Untersuchungen konnten daher nicht zur Klärung der Altersfrage dieser Talgeneration beitragen.

Problem 3: Flußverlegungen

Die bodenkundlichen Untersuchungen konnten in Verbindung mit petrographischen und Schwermineralanalysen die Entwässerung der altquartären Reliefgenerationen rekonstruieren. Wie aus Fig. 7 hervorgeht, wurde der Bereich des Amöneburger Beckens in südwestlicher Richtung durch das Tal der heutigen Zwester Ohm entwässert. Die Beobachtungen im Gelände ergaben, daß das altquartäre Flußnetz mindestens bis zur Anlage der mindelzeitlichen 20–28-m-Terrasse bestanden haben mußte. Eine genaue Datierung der Umkehrung des Entwässerungssystems im Amöneburger Becken konnte jedoch nicht ermittelt werden. Die geologisch-petrographischen Verhältnisse (Fig. 2) in den Einzugsgebieten der Flüsse Lahn, Wohra und Ohm hätten bei mächtigeren und weniger intensiv verwitterten pleistozänen Terrassenablagerungen die Anwendung der petrographischen und Schwermineralanalyse sinnvoll erscheinen lassen im Hinblick auf den Nachweis, in welchen Terrassenablagerungen bei Marburg sich Material aus dem Vogelsberg, dem Einzugsgebiet der Ohm, befindet, um somit die Zeit der Flußumkehr zu bestimmen. Doch die Analysen zeigten, daß die Schotter derart stark verwittert sind, daß die gegen die Verwitterung relativ wenig resistenten typischen vulkanischen Minerale sowie auch die Basaltgerölle nicht mehr einwandfrei identifiziert werden konnten.

Unter den auf tertiäre und pleistozäne Verwitterungseinflüsse zurückzuführenden Tonmineralen des basaltischen Vogelsberges befindet sich auch das Mineral Halloysit. Halloysit⁶ kann – wenn er in Spuren in Böden oder in Sedimenten auftritt – durch das elektronenmikroskopische Bild zuverlässig nachgewiesen werden (Photo 6). Alle anderen in der Bodenkunde angewandten Methoden, wie chemische, Röntgen- und Differential-Thermo-Analysen oder infrarotspektroskopische Untersuchungen ermöglichen nicht den exakten Nachweis des Halloysits, bzw. die Unterscheidung des Halloysits von anderen Mineralen, besonders des Kaolinit. Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Flußschotter im Marburger Raum zeigten, daß der Halloysit nur in Sedimenten anzutreffen ist, die

⁶ vgl. HOSTERMANN (1960); MÜCKENHAUSEN 1964; BESOAIN 1969; AOMINE & MIYAUCHI 1963.

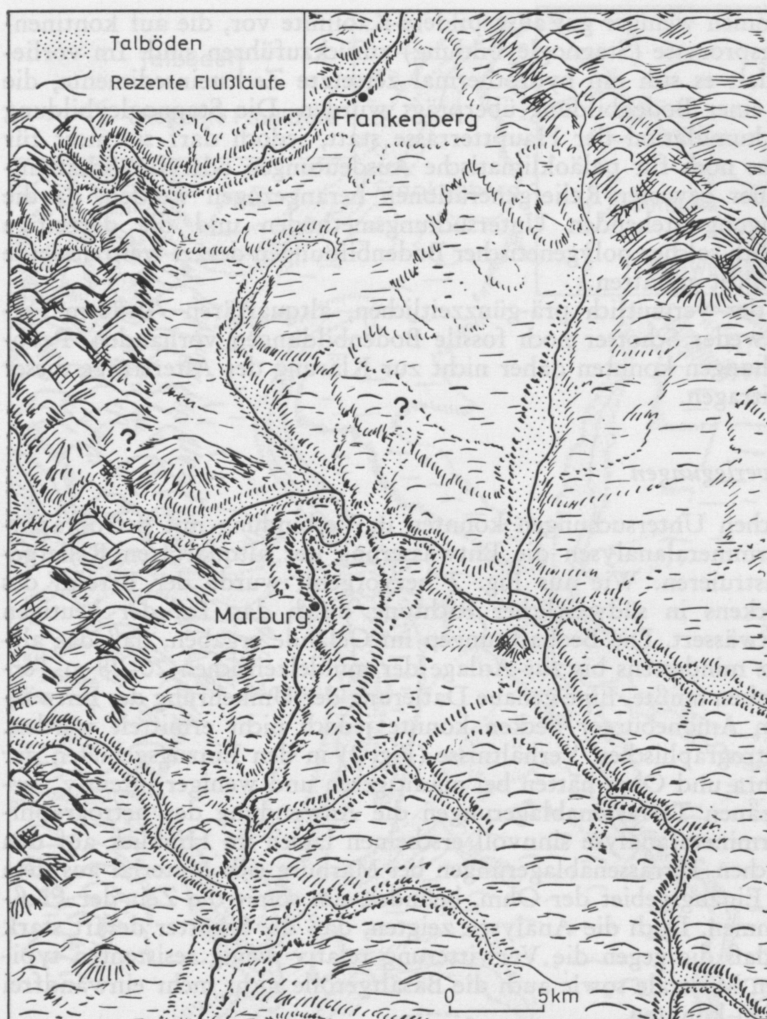


Fig. 8. Entwässerung im ausgehenden Mindelglazial nach der Flußumkehr im Amöneburger Becken.

Material des Vogelsberges enthalten. An der Mittellahn bei Marburg wurde der Halloysit in Spuren in den holozänen, würm-, riß- und mindelzeitlichen Ablagerungen gefunden. Die Flußverlegung der Ohm muß sich demnach in der Mindelzeit vollzogen haben; sie führte zur Umkehrung des Entwässerungssystems im Amöneburger Becken (Fig. 8).

IV

Die knappen Ausführungen sollten zeigen, daß pedologische Untersuchungen bei der Trennung von Reliefgenerationen als bedeutende analytische Methoden in das Bild der Geomorphologie eingebaut werden können. Spezielle Untersuchungsverfahren, wie z. B. der Einsatz des Elektronenmikroskops, ermöglichen darüber hinaus verfeinerte Aussagen über ganz bestimmte Probleme. Dabei muß man sich jedoch stets darüber Rechenschaft ablegen, inwieweit die der Bodenkunde entlehnten Arbeitsweisen unmittelbar zur Aufhellung aufgeworfener Fragen beitragen können; auch ist wichtig zu wissen, daß jede Methode ihren spezifischen Anwendungsbereich, aber auch ihre Grenzen hat. In der Regel kann daher nur die Verknüpfung verschiedener Verfahren⁷, die – jede für sich – auf ganz verschiedene physikalische und chemische Gesetzmäßigkeiten und Entwicklungsprozesse aufbauen und sich daher in ihren logischen bzw. methodischen Ansätzen unterscheiden, die komplexen geomorphologischen Erscheinungen analysieren.

Danksagung: Frau MARCHAL führte die Analysen im Laboratorium des Geogr. Inst. der Universität Bonn durch; Herr Prof. Dr. Dr. E. MÜCKENHAUSEN stellte freundlicherweise die Geräte des Bodenkundlichen Inst. der Universität Bonn zur Verfügung, wo Herr Dr. H. BECKMANN die Röntgen-Analysen und Fr. BÖDEWADT die elektronenmikroskopischen Bilder anfertigten. Den genannten Damen und Herren sowie allen Mitarbeitern des Instituts für Bodenkunde in Bonn, die meine Untersuchungen in irgendeiner Weise förderten, möchte ich hier meinen Dank aussprechen.

Literatur

- AHLBURG, J. (1916): Über das Tertiär und das Diluvium im Flußgebiet der Lahn. – Jb. preuß. geol. L.-A., 36: 269–373, Berlin.
- AOMINE, S. & N. MIYAUCHI (1963): Age of the youngest hydrated halloysite in Kyuchu. – Nature, 199: 1311–1312, London.
- BESOAIN, E. (1969): Untersuchungen von Böden auf Pyroklastiten (Asche und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschlands und Italiens. – Diss. d. landwirtsch. Fak. d. Rhein. Friedr.-Wilh.-Univ. Bonn, Bonn.
- BEUTELSPACHER, H. & H. W. VAN DER MAREL (1968): Atlas of Electron Microscopy of Clay Minerals and their Admixtures. – Amsterdam.
- BLANCKENHORN, M. (1939): Das Pliozän in den Flußgebieten der Streu, Fulda, Haune, Schwalm und mittleren Lahn. – Abh. preuß. geol. L.-A., N. F., H. 189, Berlin.
- BLANCKENHORN, M. & E. KURTZ (1930): Die Flußläufe der Tertiärzeit in der Umgebung von Marburg a. d. Lahn. – S.-B. Ges. Beförderung gesamten Naturw. Marburg, 64, 1929: 9–47, Marburg.
- BLUME, H. (1949): Die Marburger Landschaft. Gestalt und morphologische Entwicklung. – Marburger Geogr. Schr., 1, Marburg.
- BRUNNACKER, K. (1964 a): Über den Ablauf und Altersstellung altquartärer Verschüttungen im Maintal und nächst dem Donautal bei Regensburg. – Eiszeitalter u. Gegenwart, 15: 72–80, Öhringen.
- (1964 b): Grundzüge einer quartären Bodenstratigraphie in Süddeutschland. – Eiszeitalter und Gegenwart, 15: 224–228, Öhringen.

⁷ worunter ganz besonders die Geländebeobachtung gehört.

- BRUNNACKER, K. (1965): Schätzungen über die Dauer des Quartärs, insbesondere auf der Grundlage seiner Paläoböden. – *Geol. Rdsch.*, **54**: 415–428, Stuttgart.
- BÜDEL, J. (1961): Morphogenese des Festlandes in Abhängigkeit von den Klimazonen. – *Naturwissenschaften*, **48**, 9: 313–318, Berlin–Göttingen–Heidelberg.
- CORRENS, C. W. (1934): *Erl. geol. Kte. etc.*, Blatt Buchenau. – Berlin.
- GAERTNER, H. R. VON (1968): Zur stratigraphischen und morphologischen Altersbestimmung von Altflächen. – *Geol. Rdsch.*, **58**: 1–9, Stuttgart.
- HARRASSOWITZ, H. (1922): Landschaftsbau am Ostrand der rheinischen Masse. – *Centralbl. Min. etc.*, Jg. 1922, B, 8: 233–242, Berlin.
- HEINE, K. (1970 a): Fluß- und Talgeschichte im Raum Marburg. Eine geomorphologische Studie. – *Bonner Geogr. Abh.*, H. 42, Bonn.
- (1970 b): Die Bleichung der Sandsteine bei Marburg/Lahn – eine hydrothermale Bildung. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **98**: 198–205, Wiesbaden.
- (1971 a): Das Elektronenmikroskop im Dienste geomorphologischer Forschung. – *Z. Geomorph.*, N. F. **15**, 3: 339–347.
- (1971 b): Fossile Bodenbildungen auf quartären Flußschottern an der Mittellahn und ihre Bedeutung für die Terrassenstratigraphie. – *Eiszeitalter u. Gegenwart*, **22**: 17–22, Öhringen.
- HÖLTING, B. & W. STENGEL-RUTKOWSKI (1964): Beiträge zur Tektonik des nordwestlichen Vorlandes des basaltischen Vogelsberges, insbesondere des Amöneburger Beckens. – *Abh. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **47**, Wiesbaden.
- HOSTERMANN, J. W. (1960): *Geology of the clay deposits in parts of Washington and Idaho. – Clays and Clay Minerals*, **7**: 285–294, New York.
- HUCKRIEDE, R. & S. ZACHOS (1969): Die pliozänen Flußschotter auf den Lahnbergen bei Marburg – ein wichtiges Dokument zur hessischen Landschafts- und Flußgeschichte. – *Geologica et Palaeontologica*, **3**: 195–206, Marburg.
- HUMMEL, K. (1929): Die tektonische Entwicklung eines Schollengebirgslandes (Vogelsberg und Rhön). – *Fortschr. Geol. Paläont.*, **VIII**, 24, Berlin.
- (1940): Landoberfläche und Täler des Vogelsberges in der Pliozänzeit. – *Geol. Rdsch.*, **31**: 8–51, Stuttgart.
- JARITZ, G. (1966): Untersuchungen an fossilen Tertiärböden und vulkanogenen Edaphoiden des Westerwaldes. – *Diss. d. landwirtsch. Fak. d. Rhein. Friedr.-Wilh.-Univ. Bonn*, Bonn.
- KAYSER, E. (1915): *Erl. geol. Kte. etc.*, Blatt Marburg. – Berlin.
- KAYSER, E. & W. PAECKELMANN (1915): *Erl. geol. Kte. etc.*, Blatt Niederwalgern. – Berlin.
- KLÜPPEL, W. (1926): Über die Reliefmorphogenie und zyklische Landschaftsgenerationen. – *Geol. Rdsch.*, **17**: 401–417, Stuttgart.
- KOCKEL, C. W. (1958): Schiefergebirge und Hessische Senke um Marburg/Lahn. – *Sammlung geol. Führer*, **37**, Berlin.
- KRESS-VOLTZ, M. (1964): Gefüge- und Strukturuntersuchungen an vulkanogenen Edaphoiden. – *Soil Micromorphology*, **S. 139–149**, Elsevier Publ. Comp. Amsterdam, London, New York, herausgegeben von A. JONGERIUS, 1964.
- KUBIENA, W. (1953): *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. – Stuttgart.
- LANG, H. D. (1954): Ein Alleröd-Profil mit eingelagertem Laacher See-Tuff bei Marburg/Lahn. – *N. Jb. Geol. Paläont., Mh. Jg.* 1954 (8): 362–372, Stuttgart.
- (1955): Zur Flußgeschichte der Lahn. Ergebnis geröllanalytischer Untersuchungen in der Umgebung von Marburg/Lahn. – *Diss. d. math.-nat. Fak. d. Philipps-Univ. Marburg*, Marburg, unveröffentlicht.
- (1956): Jungpleistozäne Torfe im nördlichen Hessen. – *Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch.*, **84**: 245–251, Wiesbaden.
- LESER, H. (1966): Pedologisch-sedimentologische Untersuchungen als geomorphologische Methode. – *Forsch. u. Fortschritte*, **40. Jg.**, **10**: 296–300, Berlin.
- LESER, H., & E. KÖSTER (1967): *Geomorphologie I. – Das Geographische Seminar. Praktische Arbeitsweisen*. Westermann, Braunschweig.
- MÄCKEL, R. (1969): Untersuchungen zur jungquartären Flußgeschichte der Lahn in der Gießener Talweitung. – *Eiszeitalter und Gegenwart*, **20**: 138–174, Öhringen.
- MAULL, O. (1919): Die Landschaft um Marburg in ihren morphologischen Beziehungen zur weiteren Umgebung. – *Jahresber. Frankfurter Ver. Geogr. Statistik XXI–XXIII*, Jg. 1919, Frankfurt.
- MÜCKENHAUSEN, E. (1962): Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. – Frankfurt.

- MÜCKENHAUSEN, E. (1964): Das elektronenmikroskopische Bild verschiedener Bodentypen. – 8th Intern. Congress of Soil Sci., Bucharest, Romania, S. 1125–1133.
- (1967): Die Feinsubstanz vulkanogener Edaphoide. – An. de Edafologia y Agrobiologia, XXVI, 1–4: 703–715, Madrid.
- PAAS, W. (1961): Rezente und fossile Böden auf niederrheinischen Terrassen und deren Deckschichten. – Eiszeitalter u. Gegenwart, 12: 165–230, Öhringen.
- ROHDENBURG, H. (1970): Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten statt Pluvial- und Interpluvialzeiten. – Eiszeitalter u. Gegenwart, 21: 81–96, Öhringen.
- SAUER, E. (1964): Das Perm am Schiefergebirgsrand zwischen Gilserberg und Lollar. – Diss. d. math.-nat. Fak. d. Philipps-Univ. Marburg, Marburg.
- SCHMIERER, T. (1934): Erl. geol. Kte. etc., Blatt Biedenkopf. – Berlin.
- SCHOTTLER, W. (1913): Erl. geol. Kte. etc., Blatt Allendorf (a. d. Lumda). – Darmstadt.
- STEGEMANN, W. (1964): Paläontologie und Stratigraphie einiger Sedimentvorkommen im Vogelsberg. – Ber. Oberhess. Ges. Natur- u. Heilkde. zu Gießen, N. F., Naturwiss. Abt., 33, 4: 251–279, Gießen.
- UDLUFT, H. (1951): Über den tektonischen Aufbau der Buntsandsteinlandschaft zwischen Marburg und Kirtorf. – Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., VI, 2: 5–14, Wiesbaden.
- WEYL, R. (1967): Geologischer Führer durch die Umgebung von Gießen. – Gießen.

Diskussionsbeiträge

N. WEIN, Karlsruhe: Auf dem Talboden der Ems lagern Flächen, die morphologisch völlig gleichartig aussehen. Erst eine Untersuchung der Böden läßt eine Zweigliederung zu: Ein Teil der Flächen trägt einen tiefgründigen braunen Aueboden = ältere Flächen, ein Teil der Flächen zeigt kaum eine Bodenbildung, lediglich einen schwachen Podsolranger = jüngere Flächen. Ältere Flächen = Inselterrassen, jüngere Flächen = mittelalterliche Auesandkörper.

Eine Unterscheidung der beiden verschiedenen alten Formen ist nur durch pedologische Untersuchung möglich.

Lit.: N. WEIN, (1971): Auesand im Tal der Ems. – Neues Archiv für Niedersachsen, Heft 3 oder 4.

A. SEMMEL, Hofheim: Eine mit Hilfe von Böden so gut faßbare Reliefentwicklung, wie sie Herr HEINE vorstellt, findet wohl kaum eine Parallele in anderen Gebieten der Mittelgebirge. Häufig trifft zwar zu, daß die älteren Formen stärker verwittert sind als jüngere, aber eine Differenzierung und Zuordnung bis in einzelne pleistozäne Warmzeiten ist meines Wissens doch ungewöhnlich.

A. BRONGER, Kiel: Für die Frage nach der *Intensität* der Verwitterung können *absolute* Tongehalte, die Sie erwähnten (und aus Ihren Tabellen zu ersehen waren), nicht in Betracht kommen. Wichtig sind allein – soweit bestimmbar – die jeweilige *Zunahme* des Tongehaltes im Vergleich zum zugehörigen Ausgangsmaterial.

2. Wie korrelieren Sie – aus Ihrer Tabelle 1 ersichtlich – einen Tonmineralbestand von Kaolinit, Illit und Quarz mit einem T-Wert von 95 mval/100 g? (Die AK von Kaolinit ist ca. 10, die von Illit 20 bis maximal 50 mval/100 g).

MAQSUD, Mainz: Ich möchte Herrn Heine für seine interessante Ausführung danken. Die von Ihnen gemachten Feststellungen im Hinblick auf die Zunahme des Verwitterungsgrades der Terrassenablagerungen im Marburger Raum von den ältesten, decken sich ausgezeichnet mit meinen sedimentologisch-tonmineralogischen Untersuchungsergebnissen der Weschnitztal-Terrassen. Dort ist ebenso eine relativ stärkere postsedimentäre Verwitterung des Schottermaterials der älteren, mittel- bis altpleistozänen Terrassen festzustellen die sich außerordentlich gut im Bild der Tonmineralführung, nämlich eine erhebliche Zunahme der Kaolinitgruppe bis zu ca 35–40 % widerspiegelt. Im Zusammenhang mit der Tonmineralgarnitur solcher Ablagerun-

gen gestatten Sie mir zwei Fragen: Sind die von Ihnen gemachten Angaben über den Tonmineralbestand mehr oder weniger absolut quantitativer Art? Wenn ja, welche Präparations- und Auswertungsmethoden sind hierfür angewendet worden?

J. BÜDEL, Würzburg: Die Bedeutung bodenkundlicher Untersuchungen für die Trennung von Reliefgenerationen ist unbestritten. Sie müssen aber stets mit der quantitativen und qualitativen Reliefanalyse Hand in Hand gehen. Hätte A. PENCK die Eiszeit-Terrassen des Alpenvorlandes rein nach ihrem Ton- und Schwermineralgehalt getrennt, so hätte er die 4 Eiszeiten nie entdeckt, denn etwa die Würmterrassen zeigen eine ganz verschiedene petrographische Zusammensetzung, je nachdem sie aus Flysch-, Kalk-, Schiefer- oder Kristallingebieten stammen. Umgekehrt zeigen die Günz-, Mindel-, Riß- und Würmterrassen aus denselben Gletschereinzugsgebieten eine sehr ähnliche Zusammensetzung. Die Trennung der einzelnen Eiszeiten konnte daher PENCK *nur* nach der Reliefanalyse zusammengehörender Schotterfluren durchführen. Es ist anzuerkennen, daß Herr HEINE sich dieses Umstandes bewußt und um Lösungen auf *beiden* Pfeilern bemüht ist.

Etwas überschätzt scheint mir die Rolle wiederaufgedeckter präkretazischer und präpermi-scher Rumpfflächen zu sein. Hier wirken die älteren Geologenvorstellungen noch etwas nach, nach denen es wohl überall Reste solcher alten exhumierten Rumpfflächen geben sollte (über deren Bildungsmechanismus dabei nichts mitgeteilt wurde), aber möglichst keine tertiären, obwohl deren Reste subaerisch noch in so großem Umfang erhalten sind, und obwohl der Mechanismus ihrer Entstehung inzwischen nach den Analogien mit der Bildung rezenter Rumpfflächen in den heutigen wechselfeuchten Tropen weitgehend aufgeklärt wurde – und ebenso die Prozeßfolge der traditionellen Weiterbildung dieser tertiärzeitlichen Rumpfflächen bis heute.

K. HEINE, Bonn (Schlußwort): Ich danke den Diskussionsrednern für ihre Anregungen. Zuerst zu den Bemerkungen von Herrn SEMMEL: Die schöne Abfolge der Verwitterung in den verschiedenen Terrassensedimenten ist selbstverständlich nicht in allen Ablagerungen gegeben. Für die Untersuchungen und die Zusammenstellung der Ergebnisse wurden *die* Sedimente ausgewählt, die 1. typische Lahnschotter zeigten, 2. nicht oder nicht wesentlich umgelagert worden sind, 3. noch besonders gut die fossilen Bodenbildungen erkennen ließen. Bei diesen Sedimenten allerdings zeigten sich deutliche Unterschiede hinsichtlich der Verwitterung in direkter Abhängigkeit vom Alter der Ablagerungen. Hinzu kommt, daß die pedologischen Kriterien nicht allein gesehen werden dürfen; im Rahmen des Vortrages konnten die anderen Beweise, vorwiegend geomorphologischer, sedimentologischer, petrographischer und mineralogischer Art nicht ausführlich behandelt werden (vgl. HEINE, Bonner geogr. Abh., H. 42). Zum 2. Punkt, dem Halloysit: Ein äolischer Transport des Halloysits in die Terrassenschotter scheidet aus, da u. a. Untersuchungen an Lössen (HEINE, Erdkunde 1970) gezeigt haben, daß der äolische Transport von Halloysit zu gering ist, um innerhalb der Terrassenschotter eine Rolle zu spielen. Auch ist auffällig, daß die Halloysitführung in den Lahnsedimenten bei Marburg seit der Mindeleiszeit sich gut mit den anderen Beobachtungen in Verbindung bringen läßt; hier möchte ich auch wieder auf meine Ausführungen in Heft 42 der Bonner geogr. Abh. verweisen.

Zu Herrn BRONGER: Selbstverständlich darf man den Tongehalt der Sedimente allein nicht als eine bedeutende Methode ansehen. Angegeben sind auch hier lediglich Durchschnittswerte. Doch zeigt sich, daß mit dem Alter der Sedimente auch der Tongehalt am Gesamtsediment zunimmt, wobei bemerkt werden muß, daß relativ gleichartige Sedimente verglichen worden sind; hier also typische Lahnschotter, die unverwittert korngößenmäßig keine großen Unterschiede zeigen (das belegen die unverwitterten Schotter der jeweiligen Terrassen). – Der hohe T-Wert bei den Sedimenten der mindel- und günzzeitlichen Terrassen fügt sich nicht in das Gesamtbild ein. Das ist mir klar. Die Ursachen hierfür kenne ich nicht, man könnte nur Vermutungen äußern. Da die Untersuchungen jedoch diese Werte ergaben, möchte ich sie nicht – nur weil sie offensichtlich nicht passen – fortlassen.

Zu Herrn MAQSUD: Absolute Angaben über die Tonminerale sind nicht gemacht worden. Ich glaube, das ist bei Anwendung der von mir benutzten Methoden auch nicht möglich.

Zu der ergänzenden Bemerkung von Herrn BÜDEL: Ich bin selbstverständlich nicht der Meinung, die Verebnungen bei Marbung seien exhumierte präpermische Rumpfflächen. Doch ich habe zu bedenken gegeben, daß zumindest kleine Teile der Verebnungen, die bis ins Mio/Pliozän nicht zerstört worden sind, eine präpermische „Vorform“ haben. Daß tertiäre Flächenbildung bei der Anlage, Exhumierung und Weiterbildung der Verebnungen die bedeutendste Rolle einnimmt, ist selbstverständlich und wird von mir nicht bestritten. – Ich danke nochmals für die Beiträge der Diskussionsredner.

Anschrift des Autors:

Dr. KLAUS HEINE, Geographisches Institut der Universität, 53 Bonn, Franziskanerstraße 2